

В.А. Залога, д-р техн. наук, К.А. Дядюра, канд. техн. наук, Сумы, Украина

# **МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ЭТАПАХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ТЕХНИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОБРАТНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ**

*В рамках инструментальных средств, поддерживающих принятие оптимальных решений на основе обратных вычислений исследованы и апробированы на практике механизмы представления конечного результата деятельности сложных организационных систем на этапах жизненного цикла машиностроительной продукции. При формировании характеристик продукции с учетом ограничений на все виды ресурсов использован принцип динамического программирования. Ключевые слова: жизненный цикл машиностроительной продукции, конкурентоспособность, качество, стоимость жизненного цикла изделия*

*У рамках інструментальних засобів, що підтримують прийняття оптимальних рішень на основі зворотних обчислень досліджені і апробовані на практиці механізми представлення кінцевого результату діяльності складних організаційних систем на етапах життєвого циклу машинобудівної продукції. При формуванні характеристик продукції з урахуванням обмежень на всі види ресурсів використаний принцип динамічного програмування. Ключові слова: життєвий цикл машинобудівної продукції, конкурентоспроможність, якість, вартість життєвого циклу виробу*

V.A. ZALOGA, K.A. DJADJURA

MODEL OF DECISION-MAKING ON THE STAGES OF LIFE CYCLE ENGINEERING PRODUCTION OF INDUSTRIAL AND TECHNICAL COMPUTING BASED ON FEEDBACK

*Within the framework of tools which underprop acceptance of optimum decisions on the basis of reverse calculations probed and approved in practice mechanisms of presentation of eventual result of activity of the complex organizational systems on the stages of life cycle of machine-building products. At forming of descriptions of products taking into account limits on all of types of resources the utilized principle of the dynamic programming.*

*Keywords: life cycle of machine-building products, competitiveness, quality, cost of life cycle of good*

**Введение.** Основой современного промышленного производства являются сложные технические системы (СТС), которые создаются и непрерывно совершенствуются для удовлетворения тех или иных потребностей общества. В состав таких систем в общем случае могут входить три разнородных компонента [1]: комплекс технических средств (КТС), программное обеспечение (ПО) и оперативный персонал (ОП). Совокупность их характеристик определяется типом, составом и качеством большого количества элементов и подсистем, объединенных для достижения требуемого результата - повышения технико-экономических показателей производства и обеспечения конкурентоспособности продукции. Машиностроительная продукция производственно-технического назначения представляет собой самостоятельно функционирующее изделие, которое является, как правило, СТС. Любая СТС имеет ряд этапов существования: проектирование [2], изготовление [3] и использование

(эксплуатация) [4], которые являются главными составляющими жизненного цикла (ЖЦ) системы. Развитие СТС от первоначальной идеи и до вывода ее из эксплуатации (утилизации или модернизации) определяет межотраслевое взаимодействие многих сложных организационных систем (СОС) [5, 6], как правило, объединенных в единую интегрированную информационную среду [7]. Большая размерность таких систем, разнородность и сложность входящих в них объектов различной природы предопределяет многоаспектный иерархический характер формирования характеристик СТС. Необходимым условием конкурентоспособности СТС на рынке является эффективная организация процессов управления СОС. Принятие как стратегических, так и тактических решений, обеспечивающих с целью обеспечения конкурентоспособности изделия оптимальные условия использования материальных, энергетических и информационных ограниченных ресурсов на всех этапах ЖЦ СТС, вызывает необходимость применения специальных методов и пакетов прикладных программ. Для этой цели разрабатываются интегрированные информационные системы поддержки принятия решений (ИИСППР). В связи с развитием и широким использованием формализованных методов для анализа совершенствования процессов в управлении производством возникают новые актуальные задачи по обоснованному выбору и применению математического и программного инструментария. В данной работе рассматривается возможность применения научных принципов, методов и средств обратных вычислений [8] при формировании решений СОС на этапах ЖЦ СТС.

**Постановка задачи.** Выбор критериев, которые используются для оптимального управления СОС на этапах ЖЦ, достаточно сложен. Поставленные при проектировании, изготовлении и функционировании СТС цели, как правило, противоречивы относительно большинства требований заказчика и необходимых ресурсов и затрат (например, обеспечение минимальной стоимости и максимальной надежности, минимальных потерь и затрат и т.п.). Структура формирования управляющих воздействий включает совокупность итоговых и частных показателей и реализуется на разных иерархических уровнях СОС и стадиях управления. Процесс принятия правильных решений при создании СТС – это итеративный процесс, который должен при необходимости, в случае неудовлетворенного результата, многократно повторяться. На каждом последующем шаге уточняются и детализируются решения предыдущих стадий, рассматриваются и сравниваются разные варианты реализации отдельных подсистем, а также контролируются происходящие процессы. При принятии решения оптимизируется один из показателей или технико-экономических параметров производственной деятельности при ограничениях на остальные с помощью процедуры максимизации или минимизации соответствующего критерия.

Распространенные в настоящее время системы формирования решений известны как системы поддержки принятия решений, ориентированные на

прямые расчеты. Вид формул, обеспечивающих прямые вычисления технико-экономических параметров производственной деятельности, может быть сколь угодно разнообразным. При этом отсутствие в надлежащем виде математической зависимости хотя бы для одного из них делает решение задачи невозможным, поскольку в процессе вычислений требуется одновременный учет ограничений на все параметры. Кроме того, большинство методов, базирующихся на прямых вычислениях, предлагают, как правило, односторонние решения, что ведет к неустойчивому функционированию систем любого характера. Для положительного решения указанных проблем предлагается использовать методику обратных точечных вычислений.

Методика обратных точечных вычислений предполагает их приведение к стандартному виду [8]. Для этого прямые функции дополняют следующей информацией о целевых установках лица, принимающего решение (ЛПР):

- направления изменений аргументов;
- приоритетность в изменении аргументов (веса важности целей).

Результаты вычислений одновременно отражаются как в аналитической, так и в графической форме. Направление изменения показателей указывается с помощью знаков увеличения (плюс (+)) или уменьшения (минус (-)), а приоритетность целей - с помощью коэффициентов их относительной важности (КОВ).

Если формулы, элементы которых указывают на уровень достижений той или иной цели, известны, то необходимо выработать принципы, согласно которым будут определяться приросты аргументов имеющих функций.

Одним из таких принципов может служить пропорциональное изменение прироста аргументов прямой функции согласно долям, указанных ЛПР.

Если функция содержит более двух аргументов, то используют два решения задачи:

- создают систему уравнений, число которых соответствует числу аргументов;
- сводят многоаргументную функцию к двум аргументам.

Так, например, для функции с тремя аргументами

$$y = f(x, z, p) \quad (1)$$

изменение (прирост) функции возможен за счет изменения (положительного или отрицательного) всех трех аргументов, т.е.

$$\pm \Delta y = \pm \Delta y_1 \pm \Delta y_2 \pm \Delta y_3, \quad (2)$$

где  $\pm \Delta y$  – общий прирост функции;  $\pm \Delta y_1$ ,  $\pm \Delta y_2$ ,  $\pm \Delta y_3$  – приросты функции, полученные за счет приростов первого, второго и третьего аргументов.

Задачу обратных вычислений для функции с тремя аргументами можно решить с помощью следующей системы уравнений

$$\begin{cases} y \pm \Delta y = f(x \pm \Delta x(\alpha)), \\ z \pm \Delta z(\beta), p \pm \Delta p(\gamma), \\ \frac{\Delta x}{\Delta x + \Delta p} = \frac{\alpha}{\beta + \gamma}, \\ \frac{\Delta z}{\Delta x + \Delta p} = \frac{\beta}{\alpha + \gamma}. \end{cases} \quad (3)$$

В качестве ограничений используются неравенства вида:  $\Delta x \leq \bar{\Delta x}$ ,  $\Delta z \leq \bar{\Delta z}$ ,  $\Delta p \leq \bar{\Delta p}$ . Здесь  $\Delta x(\alpha)$ ,  $\Delta z(\beta)$ ,  $\Delta p(\gamma)$  выражения, которые указывают на функциональную зависимость соответствующих приростов от коэффициентов относительной важности  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  ( $\alpha + \beta + \gamma = 1$ ).

Для расчета приростов аргументов можно воспользоваться индивидуальными коэффициентами

$$\begin{cases} x + \Delta x = k_1 x, \\ z + \Delta z = k_2 z, \\ p - \Delta p = \frac{p}{k_3}. \end{cases} \quad (4)$$

Задача обратных вычислений запишется в виде:

$$\begin{cases} y + \Delta y = f\left(k_1 x, k_2 z, \frac{p}{k_3}\right), \\ \frac{k_1 x - x}{k_2 z - z + p - \frac{p}{k_3}} = \frac{\alpha}{\beta + \gamma}, \\ \frac{k_2 z - z}{k_1 x - x + p - \frac{p}{k_3}} = \frac{\beta}{\alpha + \gamma}. \end{cases} \quad (5)$$

Ограничения на значения исходных данных устанавливаются из семантики индивидуальных коэффициентов:

$$\begin{aligned} k_1 &\geq 1, \\ k_2 &\geq 1, \\ k_3 &\geq 1. \end{aligned} \quad (6)$$

Вычисления являются точечными, так как позволяют найти некоторые точки в диапазоне возможных изменений аргументов функции. Такие инструментальные средства позволяют без программирования изменять как процесс расчета, так и форму представления результата. Для обратных вычислений характерны следующие формы представления данных: дерево целей, дерево вероятностей, дерево вывода и нечеткие множества.

Целью данной работы является практическое применение обратных точечных вычислений при формировании решений СОС на этапах ЖЦ СТС.

**Результаты исследований.** В связи с тем, что СТС являются многофункциональными и выполняемые ими функции могут существенно отличаться, при рассмотрении многих вопросов используется функциональный подход: из состава СТС выделяют группы технических, программных и эргатических (оперативный персонал) элементов, участвующих в выполнении некоторой ( $j$ -й) функции.

Эта группа элементов образует  $j$ -ую функциональную подсистему ( $j$ -я ФПС или ФПС <sub>$j$</sub> ), рассматриваемой СТС. Именно эта ФПС <sub>$j$</sub>  подлежит анализу при рассмотрении характеристик системы в отношении реализуемой ею  $j$ -й функции.

В состав ФПС <sub>$j$</sub>  (как и в состав системы в целом) в общем случае входят три компонента [1]:

- группа участвующих в реализации  $j$ -й функции технических средств ( $j$ -я функциональная подсистема КТС – ФП<sub>КТС $j$</sub> );
- группа участвующих в реализации  $j$ -й функции программных средств ( $j$ -я функциональная подсистема ПО – ФП<sub>ПО $j$</sub> );
- группа участвующих в реализации  $j$ -й функции эргатических средств ( $j$ -я функциональная подсистема ОП – ФП<sub>ОП $j$</sub> ).

Множество элементарных функций  $\Phi^N$  по связям  $\Theta^N$  определяет множество групп ФПС <sub>$iN$</sub>  <sup>$N$</sup>  и элементарных средств (ФП<sub>КТС $iN$</sub> , ФП<sub>ПО $iN$</sub> , ФП<sub>ОП $iN$</sub> ). Внутри множества ФПС <sub>$iN$</sub>  <sup>$N$</sup>  по связям  $\Theta^N$  формируется множество характеристик  $X_{\Phi PS}^N$  ( $X_{\Phi PS_i}^N \in X_{\Phi PS}^N$ ), которые обеспечивают эффективность выполнения функций в условиях ограничений на параметры.

Для выполнения требований к СТС при их использовании (например, обеспечение характеристик конечной продукции  $X_{\Pi}$ , обеспечивающих ее конкурентоспособность) необходима реализация соответствующих преобразований на различных этапах ЖЦ СТС.

Модель формирования характеристик  $X_{\Pi}$  можно представить в виде следующих преобразований (отображений):

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 : X_{\Pi} &\rightarrow TP_{СТС} \\ \varphi_2 : TP_{СТС} &\rightarrow X_{СТС} \\ \varphi_3 : X_{СТС} &\rightarrow TP_{\Phi PS_{iN}} \\ \varphi_4 : TP_{\Phi PS_{iN}} &\rightarrow X_{\Phi PS_{iN}} \\ \varphi_5 : X_{\Phi PS_{iN}} &\rightarrow X_{\Phi PS_{СТС}} \\ \varphi_6 : X_{\Phi PS_{СТС}} &\rightarrow X_{\Pi} \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

где  $\varphi_1$  – преобразование (отображение) характеристик качества конечной продукции  $X_{\Pi}$  в множество требований к СТС (продукции производственно-технического назначения)  $TP_{СТС}$ ;

$\varphi_2$  – преобразование требований  $TP_{СТС}$  в конструктивное описание СТС;

$\varphi_3$  – преобразование характеристик СТС  $X_{СТС}$  в требования к функциональным подсистемам их изготовления  $TP_{\Phi PS_{iN}}$ ;

$\varphi_4$  – преобразование  $TP_{\Phi PS_{iN}}$  в характеристики реально готовых к использованию функциональных подсистем изготовления  $X_{\Phi PS_{iN}}$ ;

$\varphi_5$  – преобразование  $X_{\Phi PS_{iN}}$  в характеристики изготовленной СТС  $X_{\Phi PS_{СТС}}$ ;

$\varphi_6$  – преобразование  $X_{\Phi PS_{СТС}}$  в характеристики конечной продукции  $X_{\Pi}$ .

Модель системы преобразований состоит из объектов СОС (элементов, функциональных подсистем) определенного иерархического уровня: технических (ФП<sub>КТС $j$</sub> ), программных средств (ФП<sub>ПО $j$</sub> ) и оперативного персонала (ФП<sub>ОП $j$</sub> ).

Всякая общность объектов (комплекс технических средств (КТС), программное обеспечение (ПО) и оперативный персонал (ОП)), процессов и явлений, связанных с проектированием, изготовлением и эксплуатацией СТС характеризуется структурой и может быть представлена соответствующим графом  $G = \{A, B\}$ , в котором  $A$  – множество вершин,  $B: A \rightarrow A$  – множество ребер (дуг) [9]. Граф многоуровневого ЖЦ СТС показан на рис. 1.

Модель ЖЦ представляет собой вложенный или многоуровневый граф. Связи (дуги графа) рассматриваемой общности объектов ЖЦ характеризуются направлением (прямым или обратным), кинематикой (статической или динамической, детерминированной или стохастической) и определением (минимальное число  $N-1$  связей задается различными способами, а остальные  $(N-2)^2$  связей рассчитываются на основе метода, универсального для всего графа).

Существуют различные модели ЖЦ систем. Модель ЖЦ СТС включает следующие этапы: проектирование, подготовка производств, изготовление, эксплуатация, модернизация, утилизация и т.п. Дальнейшая декомпозиция процессов на каждом этапе приводит к понятиям уровней этапа и элементов деятельности на этих уровнях. Общая модель процессов ЖЦ, на основе методологии функционального моделирования IDEF0 [10] состоит из информационных, материальных и энергетических объектов определенного иерархического уровня, являющихся одновременно входами (ресурсами), выходами (продукцией) и средствами соответствующих преобразований. С теоретической точки зрения такая схема облегчает применение различных средств и методов.

Ориентированный граф ЖЦ СТС можно задать матрицей смежности (рис. 2) вершин  $A = \|a_{ij}\|$ , в которой  $a_{ij}=1$ , если граф содержит ребро (i, j), и  $a_{ij}=0$  – в противном случае.

S1 – научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы;  
S2 – конструкторская подготовка производства;  
S3 – технологическая подготовка производства;  
S4 – материально-техническое обеспечение производства;  
S5 – изготовления материала;  
S6 – изготовление заготовки;  
S7 – изготовление детали;  
S8 – сборка узловая;  
S9 – общая сборка;  
S10 – контроль и испытание изделия;  
S11 – монтаж и пусконаладочные работы;  
S12 – использование изделия за функциональным назначением;  
S13 – техническое обслуживание и ремонт;  
S14 – утилизация или модернизация.

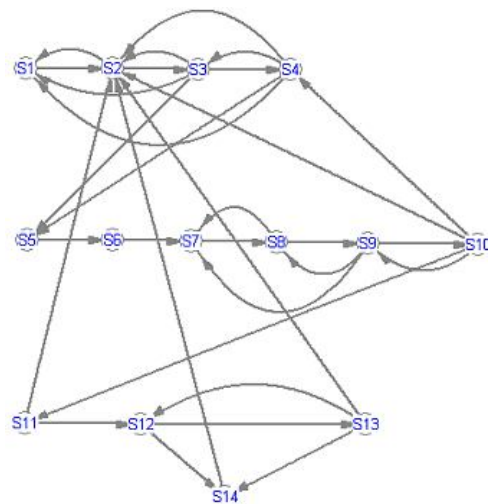


Рисунок 1 – Граф модели ЖЦ СТС, включающий этапы проектирования, изготовления и эксплуатации

Процесс принятия решений может быть представлен в виде иерархической, древовидной структуры с характеристиками звеньев (ветвей), отражающих стоимость (СЖЦ), время (Т) и характеристики СТС ( $X_{флс}$ ), удовлетворяющие заказчика, а также связи с предыдущими и последующими решениями. Декомпозиция вариантов решений осуществляется по набору признаков, которые выбирают СОС. Вершины дерева обозначают варианты решений или альтернатив.

Задачей управления является выполнение следующих условий в каждой вершине графа:

$$\begin{cases} X_{флс_{стг}} \Rightarrow \max \\ CЖЦ \Rightarrow \min \\ T \Rightarrow \min \end{cases}, \quad (5)$$

где  $X_{флс_{стг}}$  – характеристики СТС;  $CЖЦ$  – стоимость СТС, т.е. величина всех затрат, производимых в процессах ЖЦ;  $T$  – фактор времени, учитывающий длительность выполнения процессов на соответствующих стадиях ЖЦ.

Критерий эффективности (функция цели) на каждом этапе может иметь следующий вид:

$$\bar{X} = \frac{\bar{X}_{флс_{стг}}}{CЖЦ \cdot T}, \quad (6)$$

где  $\bar{X}$  – характеристика выполняемых работ на каждом этапе (характеристика проектов на каждом этапе) в безразмерном виде;  $\bar{X}_{флс_j}$ ,  $CЖЦ$ ,  $T$  – величины  $X_{флс_{стг}}$ ,  $CЖЦ$ ,  $T$  в безразмерном виде.

Согласно методике обратных точечных вычислений приведем функцию (6) к виду

$$\bar{X}^+ = \frac{\bar{X}_{флс_{стг}}^+(\alpha)}{CЖЦ^-(\beta) \cdot T^-(\gamma)}; \alpha > \beta + \gamma; \beta > \gamma \quad (7)$$

Свернем эту функцию следующим образом:

$$\bar{X}^+ = \frac{\bar{X}_{флс_j}^+(\alpha)}{P^-(\sigma)}, \quad (8)$$

где  $P^- = CЖЦ^-(\beta) \cdot T^-(\gamma)$ ;  $\sigma = \beta + \gamma$ .

Приросты для  $\bar{X}_{флс_j}$  и  $P$  равны

$$\bar{X}_{флс_j} + \Delta \bar{X}_{флс_j} = k_1 \bar{X}_{флс_j}; P - \Delta P = \frac{P}{k_2}; k_2 = \frac{\bar{X} + \Delta \bar{X}}{k_1 \cdot \bar{X}}; k_1 = \frac{\alpha + \sigma \bar{X}}{\sigma \cdot \bar{X} + \frac{\alpha \bar{X}}{\bar{X} + \Delta \bar{X}}} \quad (9)$$

Для определения приростов аргументов  $CЖЦ$  и  $T$ , необходимо нормализовать их веса

$$\beta' = \frac{\beta}{\beta + \gamma}, \gamma' = \frac{\gamma}{\beta + \gamma}. \quad (10)$$

В связи с тем, что приросты аргументов  $\overline{СЖЦ}$  и  $\overline{T}$  определяются умножением, задача решается на основе функции

$$P - \Delta P = \overline{СЖЦ} \cdot \overline{T} \cdot (\beta') \cdot \overline{T} \cdot (\gamma'). \quad (11)$$

Тогда приросты  $\overline{СЖЦ} - \Delta \overline{СЖЦ} = \frac{\overline{СЖЦ}}{k_3}$ ,  $\overline{T} - \Delta \overline{T} = \frac{\overline{T}}{k_4}$  можно найти на основе решения системы уравнений:

$$\begin{cases} P - \Delta P = \frac{\overline{СЖЦ}}{k_3} \cdot \frac{\overline{T}}{k_4}, \\ \frac{\overline{СЖЦ} - \Delta \overline{СЖЦ}}{\frac{\overline{СЖЦ}}{k_3}} = \frac{\beta'}{\beta}, \\ \frac{\overline{T} - \Delta \overline{T}}{\frac{\overline{T}}{k_4}} = \frac{\gamma'}{\gamma}. \end{cases} \quad (12)$$

$$\text{Отсюда получим } k_3 = \frac{P}{k_4 \cdot (P - \Delta P)},$$

$$\text{где } k_4 = \frac{-P \cdot (\beta' \cdot \overline{СЖЦ} - \alpha' \cdot \overline{T}) \pm \sqrt{(-P \cdot (\beta' \cdot \overline{СЖЦ} - \alpha' \cdot \overline{T}))^2 + 4 \cdot \beta' \cdot \alpha' \cdot \overline{СЖЦ} \cdot \overline{T} \cdot P \cdot (P - \Delta P)}}{2 \cdot \beta' \cdot \overline{СЖЦ} \cdot (P - \Delta P)}. \quad (13)$$

Функции (6) и (8) с тремя аргументами могут быть представлены графически (рис. 3), где показано, что приросты для  $\overline{X}_{\text{ФПС}}$ ,  $\overline{СЖЦ}$  и  $\overline{T}$  зависят не только от прироста  $\Delta \overline{X}$ , но и от коэффициентов  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ .

Матрица смежности:														
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14
S1		0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S2	1		1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1
S3	0	1		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S4	0	0	1		0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
S5	0	0	1	1		0	0	0	0	0	0	0	0	0
S6	0	0	0	0	1		0	0	0	0	0	0	0	0
S7	0	0	0	0	0	1		1	1	0	0	0	0	0
S8	0	0	0	0	0	0	1		1	0	0	0	0	0
S9	0	0	0	0	0	0	0	1		1	0	0	0	0
S10	0	0	0	0	0	0	0	0	1		0	0	0	0
S11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		0	0	0
S12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		1	0
S13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		0
S14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	

Рисунок 2 – Матрица смежности для графа модели ЖЦ СТС

Результаты расчетов представлены в таблице 1.

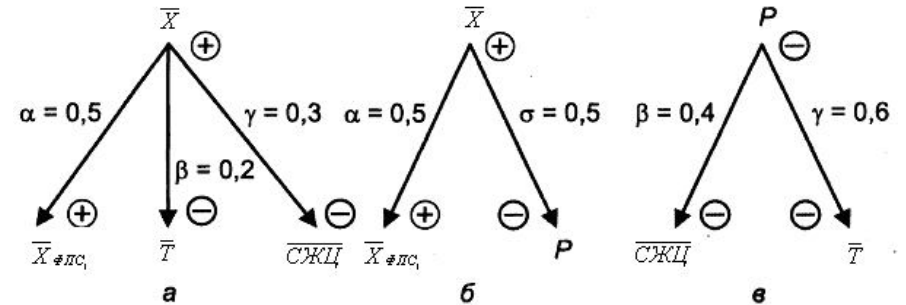


Рисунок 3 – Целевые установки, формирующие решение на каждом этапе ЖЦ:  
а - исходный вид, б - свернутый вид, в – развернутый вид.

Принятие решений с помощью обратных вычислений на этапах ЖЦ СТС осуществляется в следующей последовательности:

- на первом этапе, на основании необходимой величины  $\Delta \overline{X}$  увеличения значения характеристики работы  $\overline{X}$ , коэффициентов  $\alpha_1$ ,  $\beta_1$ ,  $\gamma_1$ , а также информации о направлениях в изменении показателях  $\overline{X}_{\text{ФПС},1}$ ,  $\overline{СЖЦ}_1$ ,  $\overline{T}_1$  определяются их новые значения:  $\overline{X}_{\text{ФПС},1} + \Delta \overline{X}_{\text{ФПС},1}$ ,  $\overline{СЖЦ}_1 - \Delta \overline{СЖЦ}_1$ ,  $\overline{T}_1 - \Delta \overline{T}_1$ ;

- на втором этапе, на основании новых значений показателей первого уровня, а также коэффициентов  $\alpha_2$ ,  $\beta_2$ ,  $\gamma_2$ , характеризующих приоритетность целей уже второго уровня, а также информации о направлениях изменения показателей  $\overline{X}_{\text{ФПС},2}$ ,  $\overline{СЖЦ}_2$ ,  $\overline{T}_2$ , определяются новые значения показателей второго уровня заданной величины  $\overline{X}_{\text{ФПС},2} + \Delta \overline{X}_{\text{ФПС},2}$ ,  $\overline{СЖЦ}_2 - \Delta \overline{СЖЦ}_2$ ,  $\overline{T}_2 - \Delta \overline{T}_2$ ;

Процесс повторяется для всех уровней ЖЦ. Принцип оптимальности Р. Беллмана [11], может быть использован для поиска решения (оптимального управления) на этапах ЖЦИ машиностроительной продукции производственно-технического назначения (рис. 4). Точки пересечения линий на графе изображены кружками, в них записано условное значение характеристики работы  $\overline{X}$ , которое является одновременно максимальным при выполнении определенного процесса. Числа, которые находятся, справа от вертикальной линии определяют условное время, необходимое для перевода изделия на следующий этап при постоянных расходах ресурсов на ФПС на данном. Числа, которые находятся над горизонтальными линиями – условное время при увеличении или уменьшении расходов ресурсов на ФПС на данном этапе.

Таблица 1 – Результаты расчетов по методу обратных вычислений

				$\overline{X_{арк_j}}$	$\overline{СЖЦ}$	$\overline{T}$	$\overline{X}$	$k_1$	$k_2$	$P$	$P \cdot P$	$\overline{P \cdot X_{арк_j} + \Delta X_{арк_j}}$	$\overline{X' - \Delta X}$	$k_4$	$k_3$	$\overline{T - \Delta T}$	$\overline{СЖЦ - \Delta СЖЦ}$
0,5	0,3	0,2	0,5	2,00	2,00	2,00	0,50	1,13	1,07	4,0	3,75	2,25	0,60	1,56	9,62	1,28	0,21
0,5	0,3	0,2	0,5	0,50	2,00	2,00	0,13	2,21	1,18	4,0	3,40	1,10	0,33	1,66	8,20	1,21	0,24
0,5	0,3	0,2	0,5	2,00	0,50	2,00	2,00	1,04	1,10	1,0	0,91	2,09	2,30	6,51	0,14	0,31	3,58
0,5	0,3	0,2	0,5	0,50	0,50	2,00	0,50	1,42	1,27	1,0	0,79	0,71	0,90	7,37	0,11	0,27	4,66
0,5	0,3	0,2	0,5	2,00	2,00	0,50	2,00	1,07	1,17	1,0	0,86	2,14	2,50	0,39	2,19	1,28	0,91
0,5	0,3	0,2	0,5	0,50	2,00	0,50	0,50	1,57	1,40	1,0	0,72	0,79	1,10	0,41	1,75	1,22	1,14
0,5	0,3	0,2	0,5	2,00	0,50	0,50	8,00	1,01	1,08	0,25	0,24	2,02	8,70	1,57	0,04	0,32	13,53
0,5	0,3	0,2	0,5	0,50	0,50	0,50	2,00	1,11	1,27	0,25	0,20	0,55	2,80	1,73	0,03	0,29	17,54
0,5	0,3	0,2	0,5	2,50	1,00	1,00	2,50	1,07	1,23	1,0	0,82	2,69	3,30	1,70	0,48	0,59	2,09
0,5	0,3	0,2	0,5	0,60	1,00	1,00	0,60	1,56	1,50	1,0	0,67	0,93	1,40	1,92	0,35	0,52	2,88
0,5	0,3	0,2	0,5	1,00	2,50	1,00	0,40	1,91	1,58	2,5	1,60	1,90	1,20	0,71	5,63	1,42	0,44
0,5	0,3	0,2	0,5	1,00	0,60	1,00	1,67	1,14	1,30	0,6	0,46	1,14	2,47	3,02	0,09	0,33	6,55
0,5	0,3	0,2	0,5	1,00	1,00	2,50	0,40	1,91	1,56	2,5	1,59	1,90	1,20	5,41	0,74	0,46	1,36
0,5	0,3	0,2	0,5	1,00	1,00	0,60	1,67	1,14	1,30	0,6	0,46	1,14	2,47	1,02	0,27	0,59	3,68
0,5	0,3	0,2	0,5	1,00	1,00	1,00	1,00	1,29	1,40	1,	0,71	1,29	1,80	1,84	0,39	0,54	2,57

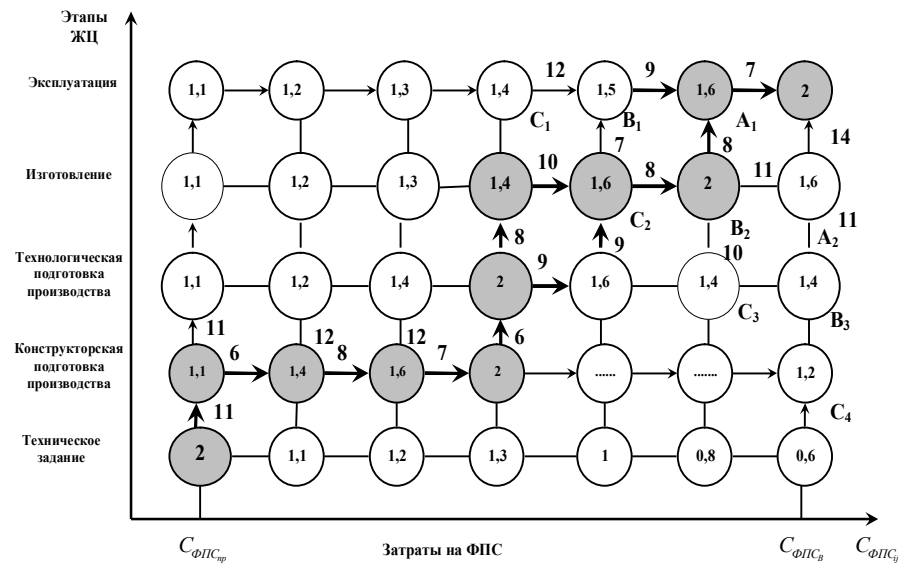


Рисунок 4 – Схема оптимального управления характеристикой процессов  $\overline{X}$  на этапах ЖЦ машиностроительного изделия производственно-технического назначения.

Применение этого принципа для построения системы формирования решений на основе обратных точечных вычислений ориентирует на обработку знаний в последовательности «сверху – вниз – слева - направо». В этом контексте процесс принятия решений выглядит как многоступенчатый процесс формирования оптимальных характеристик изделия, который начинается с последнего этапа с учетом ограничений на все виды ресурсов: материальные, финансовые, трудовые, энергетические, информационные, временные и др. Как правило, лицо, формирующее решение, может также изменять и граничные значения ресурсов, пытаясь получить вариант решения, наиболее выгодный в настоящее время.

Таким образом, для повышения эффективности выполняемых работ на величину  $\Delta \overline{X}$  необходимо увеличить качество на  $\Delta \overline{X}_{ФПС_j}$  и уменьшить СЖЦ на  $\Delta \overline{СЖЦ}$  и время на выполнение процессов на  $\Delta \overline{T}$ . При этом надо учитывать ограничения на изменения показателей, находящихся на самом нижнем уровне ЖЦ. В результате выполнения вычислений может оказаться, что сни-

жение  $\overline{СЖЦ}$  на требуемую величину  $\Delta\overline{СЖЦ}$  невозможно – ресурсов на предприятии недостаточно. Тогда задача может быть решена за счет изменения других величин ( $\Delta\overline{X}_{плс}$ ,  $\Delta\overline{T}$ ). Перерасчет показателей происходит либо в пределах заранее указанных ресурсов, либо в режиме изменяемости ресурсов, задаваемых пользователем в процессе решения задачи. Если перерасчет происходит в пределах указанных ресурсов, т.е. существует некоторый предел прироста показателей, то при достижении такого предела должно происходить динамическое перераспределение КОВ. При этом используется ресурс, предназначенный для прироста вершины, находящейся справа от текущей. Если и этого не достаточно, то происходит обращение к следующей вершине, находящейся справа, и так до конца дерева целей. Получить результат можно, лишь определив разумное множество альтернатив, путем табулирования коэффициентов относительной важности целей в указанных заранее границах.

**Выводы.** В рамках инструментальных средств, поддерживающих формирование решений на основе обратных вычислений исследованы и апробированы на практике механизмы представления конечного результата деятельности СОС на этапах ЖЦ СТС иерархического типа, которые характеризуется структурой и взаимосвязью компонентов и могут быть представлены в виде графа. Объективно обратные вычисления можно рассматривать в качестве вторичных, так как они зависят от целей воздействия на те или иные объекты, процессы и явления.

Критерием оптимального управления процессами ЖЦП в этом случае, как правило, выступает набор технико-экономических показателей производства, а ограничением – внутренняя среда предприятия и стратегические цели и задачи его развития. В такой ситуации управление ЖЦП превращается в задачу, требующую применения специальных средств анализа, планирования и управления.

**Список использованных источников:** 1. ДСТУ 3524-97 Надійність техніки. Проектна оцінка надійності складних систем з урахуванням технічного і програмного забезпечення та оперативного персоналу. Основні положення. 2. Залого В.А., Дядюра К.А. Функциональный подход к проектированию машиностроительного изделия / В.А. Залого, К.А. Дядюра // Сучасні технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2010. – вип.5. – С. 18-31. 3. Залого В.А., Дядюра К.А. Функциональный подход к процессам изготовления машиностроительного изделия / В.А. Залого, К.А. Дядюра // Резание и инструмент в технологических системах: